

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-128682

(43)Date of publication of application : 10.05.1994

(51)Int.Cl.

C22C 37/10

(21)Application number : 04-279790

(71)Applicant : ASAHI TEC CORP

(22)Date of filing : 19.10.1992

(72)Inventor : SUGIURA YASUO
OCHIAI SHUJI

(54) HEAT RESISTANT CAST IRON

(57)Abstract:

PURPOSE: To inexpensively produce a heat resistant cast iron improved in heat resistance by preparing a cast iron having a composition containing specific percentages of Ni and Si.

CONSTITUTION: A heat resistant cast iron having a composition consisting of 13.0-40.0% Ni, 3.0-10.0%, preferably 6.0-10.0%, further preferably 3.5-7.0%, Si, and the balance essentially Fe is prepared. Moreover, carbon equivalent (C+Si/3) in this cast iron is regulated to ≤ 4.14 , and one or ≥ 2 elements among Nb, Mo, V, Ti, and Ta can be added by the amount of 5-30% based on the weight of Si added. By this method, the heat resistant cast iron improved in heat resistance can be inexpensively obtained.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-128682

(43)公開日 平成6年(1994)5月10日

(51)Int.Cl.⁵

C 2 2 C 37/10

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

B

審査請求 未請求 請求項の数 5 (全 14 頁)

(21)出願番号 特願平4-279790

(22)出願日 平成4年(1992)10月19日

(71)出願人 000116873

旭テック株式会社

静岡県小笠郡菊川町堀之内547番地の1

(72)発明者 杉浦 泰夫

静岡県掛川市下俣1086番地の6

(72)発明者 落合 修二

静岡県小笠郡菊川町半済1973番地の2

(74)代理人 弁理士 西脇 民雄

(54)【発明の名称】 耐熱鋳鉄

(57)【要約】

【目的】 比較的成本の安価なSiを添加元素として積極的に利用することによって、この種の高Ni鋳鉄の耐熱性を低コストで一層向上させること。

【構成】 13.0~40.0%の範囲内のNiと、3.0~10.0%の範囲内のSiとを含み、残部を実質的にFeとした。

1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 13.0～40.0%の範囲内のNiと、3.0～10.0%の範囲内のSiとを含み、残部を実質的にFeとしたことを特徴とする耐熱鋳鉄。

【請求項 2】 13.0～40.0%の範囲内のNiと、6.0～10.0%の範囲内のSiとを含み、残部を実質的にFeとしたことを特徴とする耐熱鋳鉄。

【請求項 3】 13.0～40.0%の範囲内のNiと、3.5～7.0%の範囲内のSiとを含み、残部を実質的にFeとしたことを特徴とする耐熱鋳鉄。

【請求項 4】 請求項 1、2 または 3 記載の耐熱鋳鉄において、その炭素当量を 4.14 以下としたことを特徴とする耐熱鋳鉄。

【請求項 5】 請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の耐熱鋳鉄において、Nb、Mo、V、Ti、Ta 中の 1 または 2 以上の元素を、添加されたSi重量の 5～30%の割合で添加したことを特徴とする耐熱鋳鉄。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、耐熱鋳鉄に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 耐熱鋳鉄には、Niを多量に含む高Ni鋳鉄がある。一般に、耐熱鋳鉄の耐熱性の向上を図る場合、各種の高価な元素を添加して行なわれることが多く、高Ni鋳鉄においても各種の高価な元素を添加してその耐熱性を向上させることが種々試みられている。

【0003】

2

【発明が解決しようとする課題】 そのため、高Ni鋳鉄をはじめとする耐熱鋳鉄においては、一般に、その耐熱性が高くなるほど高価なものとなっている。

【0004】 この発明は、このような背景に基づいてなされたもので、比較的成本の安価なSiを添加元素として積極的に利用することによって、この種の高Ni鋳鉄の耐熱性を低コストで一層向上させることを目的とするものである。

【0005】

10 【課題を解決するための手段】 この目的を達成するために、請求項 1 記載の発明は、13.0～40.0%の範囲内のNiと、3.0～10.0%の範囲内のSiとを含み、残部を実質的にFeとしたことを特徴とする。

【0006】

【作用】 請求項 1 記載の発明の耐熱鋳鉄は、確認試験の結果からあきらかに、従来の高Ni鋳鉄より酸化減量が小さく耐熱性が向上しており、添加元素としてSiが用いられるのでコストも安価である。

【0007】

20 【実施例】 以下、実施例を説明するが、まず第 1 の実験について述べる。

【0008】 この第 1 の実験においては高Ni鋳鉄の耐熱性について主に添加されたSi量によりどのように向上するかを酸化減量で調査するものである。

【0009】 まず、表 1 によりこの第 1 の実験に用いる各試料の成分組成を重量%で示す。

【0010】

【表 1】

試料番号	C	Si	Mn	Mg	Ni	Cr
1-1	2.26	2.50	0.86	0.059	19.7	1.89
1-2	2.83	6.17	0.85	0.056	20.3	1.99
1-3	2.30	3.68	0.85	0.064	22.0	1.80
1-4	2.69	3.96	0.90	0.065	19.0	1.67
1-5	2.57	5.07	0.82	0.052	19.9	2.09
1-6	2.49	6.01	0.86	0.042	19.4	2.05
1-7	2.37	7.71	0.79	0.045	18.7	1.95
1-8	2.27	9.31	0.80	0.049	19.5	1.98

前記表 1 において、試料 1-1 は比較例としての従来公知の高Ni鋳鉄であって、いわゆるニレジストダクタイル鋳鉄の D2 種 (ASTM A439 の D-2, JIS FCDA-NiCr20 2 相

当) である。

50 【0011】 試料 1-2 から試料 1-8 は、いずれもこの発明の実施例であり、試料 1-2 は添加元素としての

Si量をとくに高めたもので、試料1-3は添加元素としてのNi量を高めたものである。

【0012】また、試料1-4はSi量をすこし高めたうえで添加元素としてのNi量をすこし減量して添加したもので、試料1-5~1-8は前記試料2と同様の趣旨の下に添加したSi量を変化させたものである。

【0013】これらの成分組成からなる鋳物の耐熱性を評価するために、前記各試料1-1~1-8のそれぞれを同一条件で溶解し、所定の金型に注湯して一定形状の鋳物を形成し、この鋳物の黒皮部分を除いた内部から所定の直方体形状に切りだして耐熱性試験用テストピースを作成した。

【0014】このようにして用意された耐熱性試験用の各テストピースにおいては、いずれもその全体に渡って成分組成が均質に分布した状態である。

【0015】このような各試料を用いての耐熱性の評価試験は次のようである。

【0016】すなわち、この耐熱性の評価試験としては、大気中において次のような加熱保持試験と繰り返し加熱試験とを行なった。

【0017】加熱保持試験は、加熱炉中において、所定の直方体形状に形成された各テストピースを均一に加熱して一定温度で一定時間保持させた後、各テストピースの質量を測定して酸化減量を得るものであり、この加熱保持試験においては加熱温度を900℃とし、加熱保持時間を4時間、および20時間としてそれぞれの時点での酸化減量を得た。

【0018】この結果は、図1に示すとおりであり、図中Aは加熱保持時間が4時間の時点での酸化減量を示し、Bは20時間の時点での酸化減量を示す。

【0019】なお、前記試料1-5~1-8は、前記のように試料1-2と同様の趣旨によるものであり、酸化減量の測定値もほぼ同レベルであったので図示を省略する。

【0020】図1から理解できるように、加熱保持試験における酸化減量は、比較例としての試料1-1が最も大きく、本願の実施例である、試料1-2~1-4はいずれも前記試料1-1より小さい値となっている。そして、この酸化減量の差は、加熱時間が長いほど拡大傾向にあることがわかる。

【0021】したがって、この加熱保持試験の結果から、本願発明の各実施例はいずれも既存の耐熱性鋳鉄より良好な耐熱性を有することが確認できる。

【0022】一方、繰り返し加熱試験は、前記加熱炉中の低温部と高温部との間を移動させることにより一定の熱サイクルで繰り返し加熱し、これに伴う酸化減量を測定するものである。

【0023】この繰り返し加熱試験においては、低温部の温度を200℃とし高温部の温度を870℃として、各試料をそれぞれ200回、500回および1000回の回数だけ加熱

し、各時点で質量を測定することにより酸化減量を得た。

【0024】この繰り返し加熱試験の結果は、図2に示す通りであり、図中Cは200回の時点での酸化減量を示し、Dは500回、Eは1000回の酸化減量を示す。

【0025】なお、前記試料1-5~1-8については、前記加熱保持試験の場合と同様に図示を省略する。

【0026】図2からあきらかなように、繰り返し加熱の回数がいずれの場合であっても、比較例である試料1-1の酸化減量が最も大きく、本願発明の実施例である各試料1-2~1-4はいずれもそれより小さくなっている。

【0027】したがって、本願発明の各実施例は、この繰り返し加熱試験の結果からも、既存の耐熱性鋳鉄より良好な耐熱性を有していることがわかる。

【0028】とくに、試料1-2については、前記加熱保持試験および繰り返し加熱試験のいずれの結果においても、既存の耐熱性鋳鉄の酸化減量と比べて大幅に小さい値を示しており、きわめて優れた耐熱性を備えていることが明らかである。

【0029】なお、この試料1-2と同様の趣旨による、前記試料1-5~1-8も概ね同様である。

【0030】このように良好な耐熱性を有する試料1-2の酸化部分の断面状態を図3に示し、比較例としての試料1-1の酸化部分の断面状態を図4に示す。

【0031】なお、これらの図3、図4は、前記繰り返し加熱を1000回行なった各試料について、顕微鏡により倍率100倍で観察し、この観察に基づいて作成したものである。

【0032】これらの図3、4からあきらかなように、試料1-2においては酸化領域Sは合金材料の表面に部分的に形成されているだけである。他方、比較例としての試料1-1の場合には、酸化部分Sは合金材料の表面に一定の厚さで全体的に形成されている。なお、これらの図において未酸化領域をMで示す。

【0033】したがって、これらの酸化領域Sの状態の相違から、前記耐熱性の評価試験の結果が妥当であることが確認できた。

【0034】そして、この繰り返し加熱試験により表面に酸化領域Sの形成された前記試料1-2の断面を、表面に直角方向に沿って、EPMA(X線マイクロアナライザ)による成分分析を行なった。

【0035】その結果は図5に示すとおりであり、図中Kは試料1-2の端部(表面)位置である。

【0036】図5から、試料1-2の表面近傍の部分においては、Feは内部側と比べてN部分において分布量が減少し、OはQ部分において、またSiはR部分において内部側と比べて多量に分布しており、その他C、Cr、Niの分布は内部側と比べて概ね同程度の分布であることがわかる。

【0037】この結果を前記耐熱性との関係から検討すると、以下のようであると考えられる。

【0038】すなわち、前記N部分でのFe量の減少およびQ部分でのO量の増加は、試料1-2の表面が加熱により酸化され、これらの部分が前記酸化領域Sに相当する部分であることから当然である。

【0039】しかし、前記R部分でのSi量の増加は特異な現象である。

【0040】このSiが多量に分布するR部分においては、多量のけい酸化合物が存在しているので、これが試料1-2の耐熱性を高める機能を果たしていると考えられる。

【0041】前記のように、試料1-2は加熱前の状態においては、この試料1-2としての添加元素であるSiも試料の全体に渡って均一に分布した状態であったものであるが、これを加熱することによって結果として酸化被膜中に濃化したものである。

【0042】そして、このSiの濃化した部分は、試料1-2本来の合金材料より耐熱性が高められており、この部分で熱的環境に対抗することとなるので、複合材料としての構造が合金材料の加熱により形成されたことに他ならない。

【0043】この試料1-2と同様に、前記試料1-3および試料1-4についても1000回の繰り返し加熱を行なったものをEPMAにより成分分析を行なった(図6、7参照)。

【0044】これらの場合にはいずれも、図7に例示するようにSiの濃化は生じず、Niが多量に分布した領域U(図6)、X(図7)が形成され、これら以外の元素については、前記図5と概ね同様であった。

【0045】そして、前記したようにこれらの試料1-3、1-4についても、試料1-2ほどではないが比較例としての試料1-1より良好な耐熱性を示しており、この原因はNiの濃化した酸化被膜によるものであると考えられ、前記試料1-2の場合と同様に加熱することにより合金材料の添加元素であるNiを濃化して耐熱性の優

れた被膜を形成させて、複合材料の構造が形成されたものである。

【0046】とくに、試料1-4に関する図7に見られるように、Niの濃化した領域Xが試料の表面Kから寸法Yだけ内部側に離間した位置に形成されており、本願発明は合金材料の表面に限らず、その内部にも実施することが可能であることを示している。

【0047】なお、このようなSi等の濃化部分の形成を生産工程中に行なう場合には独自に加熱炉を用いて行なえばよい。また、材料の局部において濃化部分を形成させる場合には、例えばレーザ等の局部加熱手段を用いて行なえばよい。

【0048】このような技術により、SiやNi等の耐熱性の改善に有効な元素を製品の表層部に濃化して分布させると、製品はその表層部がその内部より良好な耐熱性を具備するとともに、内部における前記元素の分布が表層部より疎であるので製品の強度等の機械的性質の改善が可能である。

【0049】前記した第1の実験の結果から、高Ni铸铁へのSiの添加量を3.0%以上で概ね10%程度までとすることはその耐熱性の向上に有効であるが、次に説明する第2の実験においては、前記の結果の妥当性を確認するとともに、第1の実験に用いた試料より多量あるいは少量のNiを含有する場合の耐熱性についての見通しを調査する。

【0050】なお、この第2の実験における各試料の成分組成は、表2に示すとおりであり、これらの各試料により概ね容器状の所定形状のターボチャージャ用ケーシング部品を鋳造し、これをそのままテストピースとして用い、これを前記した第1の実験での繰り返し加熱試験と同様に200~870℃の範囲で繰り返し加熱することにより、その形状において熱応力の集中する部位でのクラック等の損傷が生じるまでの加熱回数を以て耐熱性の面での寿命とした。

【0051】

【表2】

試料番号	C	Si	Mn	Mg	Ni	Cr
2-1	2.26	2.50	0.86	0.059	19.7	1.89
2-2	2.35	3.84	0.86	0.068	19.5	1.87
2-3	2.73	3.64	0.93	0.070	20.5	2.03
2-4	2.69	4.65	0.90	0.065	13.5	1.67
2-5	2.30	3.68	0.85	0.064	38.0	1.80
2-6	2.83	6.17	0.85	0.056	20.3	1.99
2-7	2.28	3.55	0.95	0.064	20.3	1.98

なお、表. 2は、各試料の成分組成を重量%で示すものであり、表. 2において、試料2-1は第1の実験における試料1-1と同一の比較例である。

【0052】試料2-2から試料2-7は、いずれもこの発明の実施例であって、試料2-6は第1の実験での試料1-2と同一のものである。

【0053】なお、第1の実験に用いた試料より多量のNiを含有する場合の耐熱性についての見通しは、この第2の実験後の試料2-5のテストピースを観察することにより行ない、少量のNiを含有する場合については試料2-4のテストピースを観察して行なった。

【0054】これらのテストピースを観察するが、多量あるいは少量のNiを含有する場合でも、先の第1の実験と概ね同様に良好な耐熱性を有することが確認された。

【0055】そして、この第2の実験で得られた、寿命となる加熱回数をSi量で整理してみると、図8に示すとおりである。なお、図8において○付きの数字は成分組成との対応を示す。

【0056】図8から明かとなるように、本願実施例である前記各試料と同様の成分組成からなるターボチャージャー用ケーシングの熱応力に関連する耐熱性は、Si量の3.5%~7%の範囲で、中高状となっている。

【0057】これは、Si量が3.5%未満の場合には、加熱による酸化減量が大きく、鋳物表面に形成される酸化物層が脱落し、これにより鋳物品の強度が低下してクラック等が発生するからであると考えられる。

【0058】また、Si量が7%を越える場合には、鋳物材料の硬さが大きく、じん性が小さいことにより、加熱による熱応力に敏感に反応してクラックが発生しやすくなるからであると考えられる。

【0059】前記Si量の3.5%~7%の範囲においては、加熱による酸化減量が小さく、かつ加熱による熱応力に対抗し得る程度の適度なじん性をも具備しているため、この範囲での鋳鉄材料は、とくに繰返し加熱により熱応力が作用する場合きわめて優れた耐熱性を有するものである。

【0060】以上説明した第2の実験においては、鋳物品としてターボチャージャー用ケーシングを一例として挙げて説明したが、これに限らず、例えば自動車エンジンの排気マニホールド等の排気系部品やその他繰返し加熱を受ける鋳物品一般に適用できることはいうまでもない。

【0061】このような高Ni鋳鉄におけるSi量についての認識の下に、高Ni鋳鉄の耐熱性をより一層向上させるために、この種の高Ni鋳鉄のその他の添加成分につき次のように第3の実験~第5の実験を行なった。

【0062】まず、第3の実験は、この種の高Ni鋳鉄の添加成分としてのCrに注目し、耐熱性の一層の向上を図ろうとするものである。

【0063】以下、第3の実験について説明するが、まず表. 3により各試料の成分組成を重量%で示す。

【0064】

【表3】

試料番号	C	Si	Mn	Mg	Ni	Cr
3-1	2.26	2.50	0.86	0.059	19.7	1.89
3-2	2.91	2.96	0.82	0.050	19.6	1.71
3-3	2.49	6.01	0.86	0.042	19.4	2.05
3-4	2.83	6.17	0.85	0.056	20.3	1.99
3-5	2.37	7.71	0.79	0.045	18.7	1.95
3-6	2.27	9.31	0.80	0.049	19.5	1.98

前記表、3において、試料3-1は第1の実験の試料1-1と同一の比較例で、試料3-2はCr量を少なくした比較例であり、試料3-3から試料3-6は、いずれもこの発明の実施例である。

【0065】そして、このような各試料を用いて第1の実験と同様にテストピースを作成し、第1の実験での繰返し加熱試験と同様の試験を行なった。

【0066】この第3の実験において、耐熱性の評価試験としてかかる繰返し加熱試験を行なったのは、耐熱鋳鉄からなる部品等が実用上受けることの多い加熱形態であり、かかる加熱形態において良好な耐熱性を呈する条件としての、耐酸化性と熱膨張率が小さいこととを総合的に試験できるからである。

【0067】この繰返し加熱試験の結果は、図9に示す通りである。図中Aは加熱回数が500回の時点での酸化減量を示し、Bは1000回での酸化減量を示す。

【0068】図9からあきらかなように、繰返し加熱の回数がいずれの場合であっても、比較例である試料3-2の酸化減量が最も大きく、これに次いで公知のニレジストダクタイル鋳鉄のD2種である試料3-1の酸化減量が大きく、実施例である各試料3-3～3-6はいずれもそれより格段に小さくなっている。

【0069】したがって、本願発明の各実施例は、この繰返し加熱試験の結果から、既存の耐熱鋳鉄より実用

上の良好な耐熱性を有していることがわかる。

【0070】なお、Crの添加量は1.5～5.8%の範囲内で添加することができる。

【0071】また、以上説明した各実施例において、Mnを添加してあるのは、オーステナイトの安定化と鑄造欠陥の発生を軽減するためであるが、このMnの添加量を0.4～1.0%の範囲内とすればよい。

【0072】とくに、6.0%～10.0%の範囲内のSi量を有する高Ni鋳鉄においては、Cを1.0～3.0%、Niを13.0～40.0%の範囲内で前記のごとき特性が顕著であり、この場合に前記のMnおよびCrの添加量が、前記範囲内であることにより、優れた特性を実現することができる。

【0073】次に、第4および第5の実験について説明する。

【0074】第4および第5の実験は、いずれもこの種の高Ni鋳鉄の添加成分としてのNb、Mo、V、Ti、Taに注目し、耐熱性の向上を図ろうとするものであり、前記第1の実験と同様に加熱保持試験と繰返し加熱試験とを行なって各試料の耐熱性を評価することとした。

【0075】まず表、4により、第4の実験に用いた各試料の成分組成を重量%で示すが、この第4の実験においては添加元素としてNbのみを用いたものである。

【0076】

【表4】

20

30

試料番号	C	Si	Mn	Mg	Ni	Cr	Nb
4-1	2.26	2.50	0.86	0.059	19.7	1.89	—
4-2	2.35	4.34	0.86	0.068	19.5	1.87	0.4
4-3	2.73	4.14	0.93	0.070	20.5	2.03	1.0
4-4	2.69	4.50	0.90	0.065	19.0	1.67	1.3
4-5	2.30	4.10	0.85	0.064	22.0	1.80	0.6
4-6	2.83	6.17	0.85	0.056	20.3	1.99	1.4
4-7	2.28	3.55	0.95	0.040	20.3	1.98	1.0

前記表、4において、試料4-1は第1の実験の試料1-1と同一の比較例であって、試料4-2から試料4-7は、いずれもこの発明の実施例である。

【0077】そして、これらの各試料4-2～4-7の添加元素であるNbのSi量に対する重量割合は、試料4-2は9.2%、試料4-3は24.2%、試料4-4は28.9%、試料4-5は14.6%、試料4-6は22.7%、試料4-7は24.7%である。

【0078】加熱保持試験の結果は、図10に示すとおりである。なお、図中Aは加熱保持時間が4時間の時点での酸化減量を示し、Bは20時間の時点での酸化減量を示す。

【0079】図10から理解できるように、加熱保持試験における酸化減量は、比較例としての試料4-1が最も大きく、本願の実施例である、試料4-2～4-7はいずれも前記試料4-1より小さい値となっている。そして、この酸化減量の差は、加熱時間が長いほど拡大傾向にあることがわかる。

【0080】したがって、この加熱保持試験の結果から、所要量のNbが添加された本願発明の各実施例はいずれも既存の耐熱鋳鉄より良好な耐熱性を有することが確認できる。

【0081】また、繰り返し加熱試験の結果は、図11に示す通りである。図中Cは200回の時点での酸化減量を示し、Dは500回、Eは1000回の酸化減量を示す。

【0082】図11からあきらかなように、繰り返し加熱の回数がいずれの場合であっても、比較例である試料4-1の酸化減量が最も大きく、所要量のNbが添加された本願発明の実施例である各試料4-2～4-7はいずれもそれより小さくなっている。

【0083】したがって、本願発明の各実施例は、この繰り返し加熱試験の結果からも、既存の耐熱性鋳鉄より良好な耐熱性を有していることがわかる。

【0084】とくに、試料4-6については、前記加熱保持試験および繰り返し加熱試験のいずれの結果においても、既存の耐熱性鋳鉄の酸化減量と比べて大幅に小さい値を示しており、きわめて優れた耐熱性を備えていることが明らかである。

【0085】そして、かかる組成の鋳物の高温疲労強度を評価するため、次のような試験を行なった。

【0086】すなわち、高温疲労強度は、ある形状とした鋳物品について、高温下にある材料の機械的性質の劣化と、熱応力とが複合して作用した場合の関係である。

【0087】したがって、この高温疲労強度試験は、前記第2の実験として行なった繰り返し加熱試験と同様に、前記成分組成の各試料を用いて概ね容器状の所定形状のターボチャージャ用ケーシング部品を鋳造し、これをそのままテストピースとして用い、これを前記繰り返し加熱試験と同一条件で繰り返し加熱することにより、その形状において熱応力の集中する部位での損傷が生じるまでの加熱回数を以て高温疲労強度とした。

【0088】この結果は、図12に実線で示すとおりである。なお、図12において○付きの数字は成分組成との対応を示す。

【0089】図12から明かとなるように、本願実施例である前記各試料と同様の成分組成からなるターボチャージャ用ケーシングの高温疲労強度は、Si量に対するNb添加量割合（以下、単にSi量比という）の5%～30%の範囲で、中高状となっており、この範囲での高温疲労強度は、この範囲の両側のSi量比5%未満、あるいは30%超の場合より高い値を示しており、Nbの添加により高温疲労強度が改善されていることがわかる。

【0090】以上の各試験結果から明らかなように、本願発明にかかる高Ni鋳鉄は、従来より優れた耐熱性と高温疲労強度とを有しているもので、工業材料としての高い実用性を具備している。

【0091】次に、第5の実験について説明するが、この第5の実験は添加元素としてMoのみを用いた場合であって、前記第4の実験と同様のものである。

【0092】表. 5は、第5の実験に用いる試料の成分

組成を重量%で示すものである。

【0093】

【表5】

試料番号	C	Si	Mn	Mg	Ni	Cr	Mo
5-1	2.26	2.50	0.86	0.059	19.7	1.89	—
5-2	2.35	4.43	0.86	0.068	19.5	1.87	—
5-3	2.35	4.43	0.86	0.068	19.5	1.87	1.0
5-4	2.35	4.34	0.86	0.068	19.5	1.87	0.5
5-5	2.73	4.14	0.93	0.070	20.5	2.03	0.7
5-6	2.69	4.50	0.90	0.065	19.0	1.67	1.0
5-7	2.30	4.10	0.85	0.064	22.0	1.80	1.2
5-8	2.83	6.17	0.85	0.056	20.3	1.99	1.6
5-9	2.28	4.05	0.95	0.040	20.3	1.98	1.0

なお、前記表. 5において、試料5-1は第1の実験の試料1-1と同一の比較例で、試料5-2は新たな比較例であり、試料5-3から試料5-9は、いずれもこの発明の実施例である。

【0094】本願の実施例である試料5-3～5-9の添加元素であるMoのSi量に対する重量割合は、試料5-3は23.0%、試料5-4は11.5%、試料5-5は16.9%、試料5-6は22.2%、試料5-7は29.2%、試料5-8は25.9%、試料5-9は24.7%である。

【0095】これらの成分組成からなる铸件についても、前記第4の実験のNbの場合と同様加熱保持試験および繰り返し加熱試験により、これらの各試料5-1～5-9について前記と同様に酸化減量を測定し、本願の実施例である各試料5-3～5-9のいずれもが、既存の耐熱铸件である試料5-1より小さい値を示し、良好な耐熱性を示した。

【0096】なお、本願発明の一実施例である試料5-3の酸化減量は0.015mg/cm²であり、比較例としての試料5-2の酸化減量は0.026mg/cm²であった。このことから、Moの添加が铸件の耐熱性を向上させていることがわかる。

【0097】前記表. 4に記載した試料4-6に成分組成の点で対応する、試料5-8は実施例としての各試料5-3～5-9中で最も優れた耐熱性を示した。

【0098】そして、このMoを添加した場合において

も、前記第4の実験のNbの場合と同様に、所定のターボチャージャ用ケーシング部品をそのままテストピースとして用いて同様の繰り返し加熱試験により繰り返し回数を得た。

【0099】この結果は、図12に破線で示すとおりである。

【0100】この結果においても、Si量比が5%～30%の範囲内では、前記Nbの場合と同様に中高傾向が示されており、Moの添加により高温疲労強度が改善されている。

【0101】したがって、このMoを添加した本願発明にかかる高Ni铸件も、従来より優れた耐熱性と高温疲労強度とを有しているので、工業材料としての高い実用性を具備するものである。

【0102】以上説明した第4および第5の実験においては、本願発明にかかる添加元素としてNb、あるいはMoを、各実施例の組成成分中のSi量の5%～30%の範囲内でそれぞれ単独に添加したものである。

【0103】しかし、前記NbやMoの元素の性質から考えて、この他V、Ti、Taを用いることも可能であり、これらのNb、Mo、V、Ti、Taの内の2以上の元素を併用して、その添加量の総和がSi重量の5～30%の範囲内とすることによっても同様の効果を奏することができると考えられる。

【0104】ところで、このように耐熱性と高温時の機械的特性が改善された、この種の高Ni铸件においても、

多量に含有されているNiが黒鉛化助長元素であり、含有されている黒鉛が球状であると高強度を期待することができるが非球状であると切欠き効果によって強度が小さくなることが考えられる。

【0105】以下に説明する第6の実験は、このような観点からこの種の高Ni鑄鉄において耐熱性と高温での良好な機械的性質をより一層向上させることを目的とするものであり、高Ni鑄鉄の炭素当量に注目してとくに高温時の耐衝撃値の改善を図ることを意図するものである。

【0106】そして、この第6の実験は、前記第1の実験に試料1-1として用いた高Ni鑄鉄（いわゆる、公知のD2種）の成分組成を基礎として、添加するNi量と炭素量とを適宜調整して多種類の成分組成の試験片を鑄造して作成し、これらの各種の試験片を顕微鏡で観察した。

【0107】これらの試験片の観察の結果、各成分組成中の炭素当量が限界値を越えると、試験片の表面に浮遊黒鉛が生じ、黒鉛が非球状となることがあきらかとなった。

【0108】なお、この限界値としては、例えば、Ni量が20%の場合には炭素当量が3.67であり、Ni量が0%の場合には4.14である。

【0109】これらの観察結果を添加されたNi量により整理し、炭素当量の限界線を示すと図13のようであり、この限界線以下（図中、斜線部以下）の炭素当量であれば添加された炭素は金属組織中で球状黒鉛となっており、良好な機械的性質を期待することができる。

【0110】そこで、添加されるNi量を20%に固定し、前記結論を踏まえて添加するSi量とC量とを炭素当量が3.67となるように変動させた各種の成分組成を定めた。

【0111】なお、この炭素当量（C.E.）は、 $C.E. = C + S$

$i/3$ により計算することができ、Cは炭素量、SiはSi量である。また、これらの各成分組成には、Nb, Mo, V, Ta, Ti等をSi量の5~30%の割合で添加したものである。

【0112】そして、このような各成分組成の高Ni鑄鉄材料を用いて、前記第1の実験の場合と同様に各テストピースを作成して繰り返し加熱試験を行い各テストピース毎の酸化減量を同様に測定した。

【0113】この繰り返し加熱試験の結果は、図14に示すとおりである。すなわち、全体としては添加されたSi量の増加にともなって酸化減量が小さくなっているが、添加されるSi量が3%前後となる部分で酸化減量の低減傾向は一旦なだらかとなり、その後Si量が6%近傍の部分でさらに一段酸化減量が低減するようになっていることがわかる。

【0114】従来から公知とされていた高Ni鑄鉄のSi量は3%未満であり、他方本願発明の高Ni鑄鉄のSi量は3~10%であるから、図2に示した酸化減量の曲線に当てはめた場合、本願発明にかかる高Ni鑄鉄の耐熱性が優れていることがあきらかである。

【0115】さらに、本願の請求項2にかかる高Ni鑄鉄は、Si量が6~10%であるから前記よりさらに一段と酸化減量が小さく、従来公知の高Ni鑄鉄と較べてきわめて優れた耐熱性を有することがわかる。

【0116】このような第6の実験で良好な耐熱性が確認されたテストピースの中から、表6に示す成分組成のテストピースを選択して、第7の実験として衝撃値を測定した。

【0117】

【表6】

試料番号	C	Si	Mn	Mg	Ni	Cr	Mo
6-1	2.26	2.50	0.86	0.059	20.0	1.89	—
6-2	1.97	5.11	0.86	0.059	20.0	1.89	0.87
6-3	2.00	5.00	0.86	0.059	20.0	1.89	0.40
6-4	1.73	5.81	0.86	0.059	20.0	1.89	—

なお、前記表6において、試料6-1は第1の実験の試料1-1と概ね同一の比較例であり、試料6-2から試料6-4はいずれもこの発明の実施例で、試料6-2、6-3はMoが添加されているが、試料6-4にはMoは添加されていない。

【0118】これらの各試料についての温度をパラメータとした衝撃値測定の結果は、図15に示すとおりであり、図において数字は前記成分組成との対応を示す。

【0119】比較例である、試料6-1は、概ね全体の

温度領域に渡って高い衝撃値を示しているが、900℃近傍において衝撃値が急激に低下している。また、この試料6-1は前記のように酸化減量がきわめて大きいものである。

【0120】試料6-2および試料6-3は、低温の0~500℃までは衝撃値は比較的小さいが600℃を越す高温領域においては良好な衝撃値となっており、前記のように酸化減量も小さく優れた耐熱性を具備するものである。したがって、これらの成分組成の高Ni鑄鉄は高温に

において良好な機械的性質と耐熱性の両立した材料である。

【0121】試料6-4は、前記試料6-2および6-3と較べて500℃以下の温度領域で優れた衝撃値となっており、逆に600℃を越える温度領域においては衝撃値が劣っている。しかし、この試料6-4は900℃近傍の温度領域においても前記試料6-1のように衝撃値が急激に低下する現象が無く、さらに酸化減量も小さいので従来より優れた高Ni铸铁である。

【0122】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1記載の発明の耐熱铸铁は、確認試験の結果からあきらかなように、従来の高Ni铸铁より酸化減量が小さく耐熱性が向上しており、添加元素としてSiが用いられるのでコストも安価である。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実験による、加熱保持試験の結果を示すグラフである。

【図2】第1の実験による、繰り返し加熱試験の結果を示すグラフである。

【図3】試料1-2の酸化部分の断面略図である。

【図4】比較例である、試料1-1の酸化部分の断面略図である。

【図5】試料1-2のEPMAによる成分分析結果のチャー

トである。

【図6】試料1-3のEPMAによる成分分析結果のチャートである。

【図7】試料1-4のEPMAによる成分分析結果のチャートである。

【図8】第2の実験による、繰り返し加熱試験の結果を示すグラフである。

【図9】第3の実験による、繰り返し加熱試験の結果を示すグラフである。

10 【図10】第4の実験による、加熱保持試験の結果を示すグラフである。

【図11】第4の実験による、繰り返し加熱試験の結果を示すグラフである。

【図12】第4および第5の実験による、高温疲労強度を示すグラフである。

【図13】第6の実験による、炭素当量の限界値を示すグラフである。

【図14】第6の実験による、繰り返し加熱試験の結果を示すグラフである。

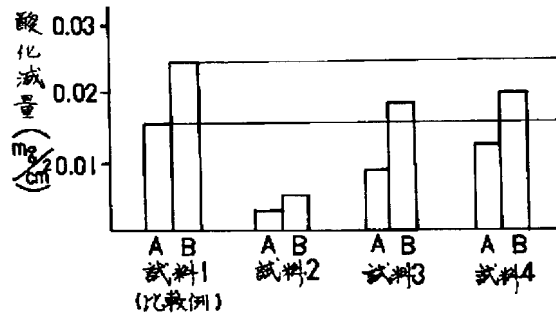
20 【図15】第6の実験による、温度をパラメータとした衝撃値のグラフである。

【符号の説明】

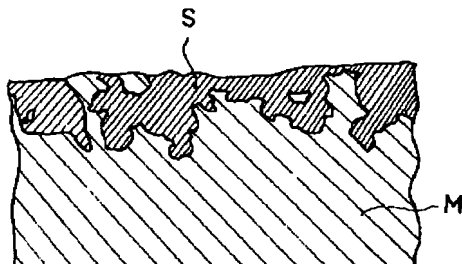
S 酸化領域

M 未酸化領域

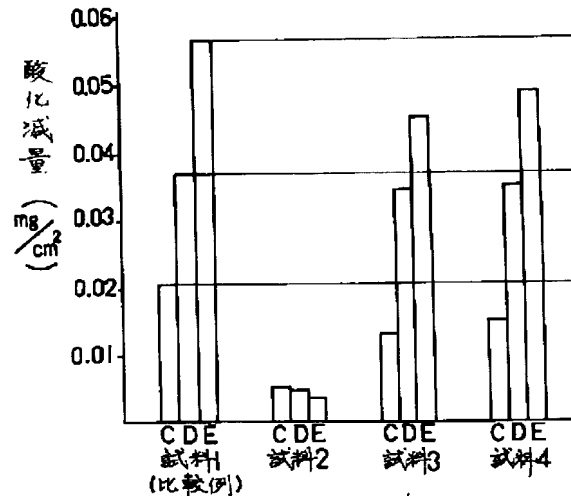
【図1】



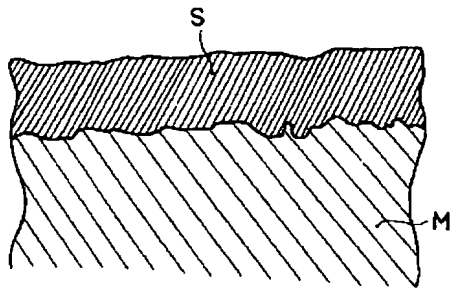
【図3】



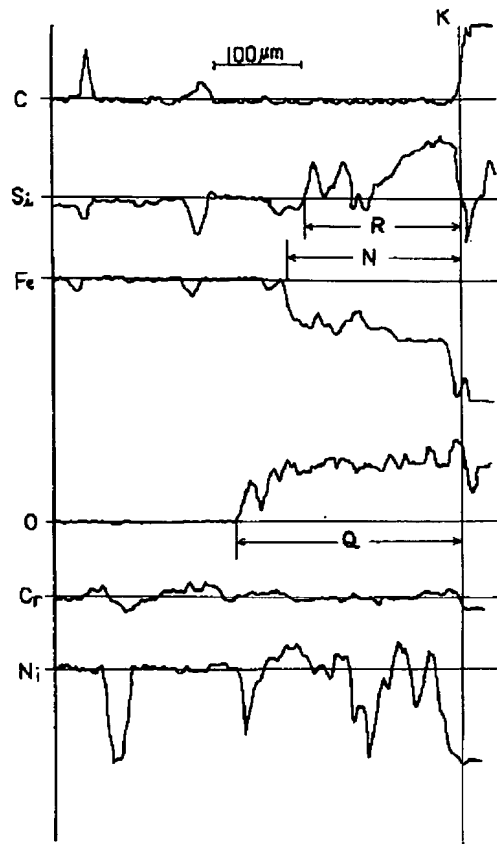
【図2】



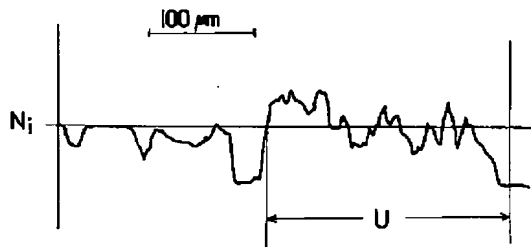
【図4】



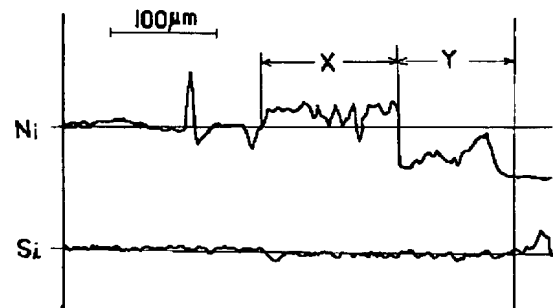
【図5】



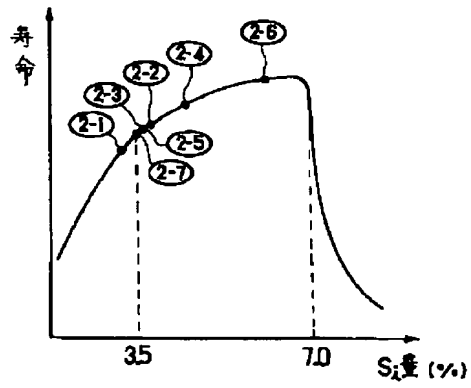
【図6】



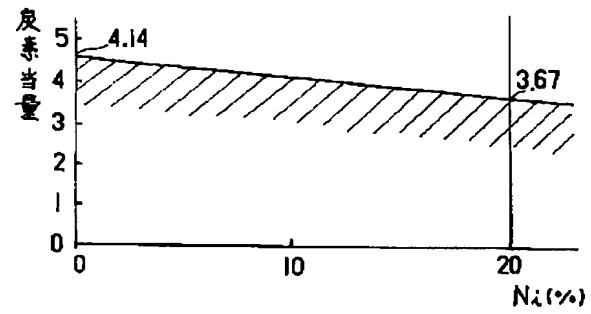
【図7】



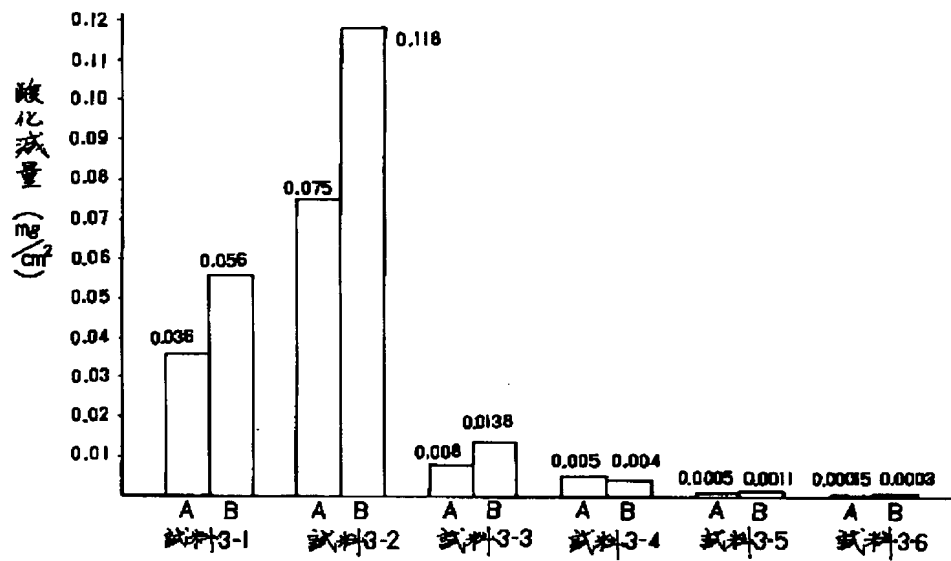
【図8】



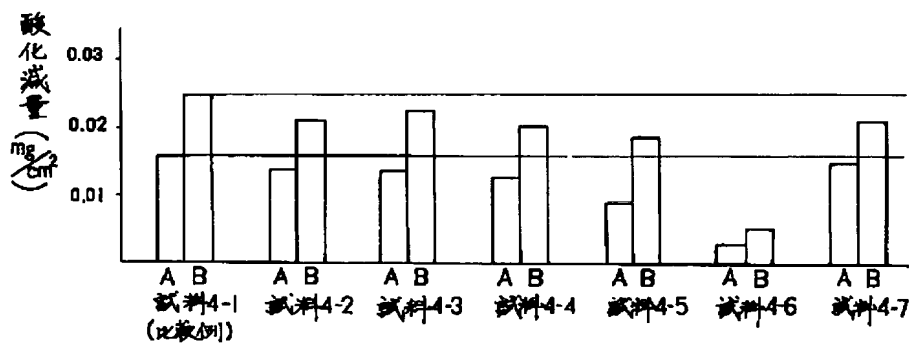
【図13】



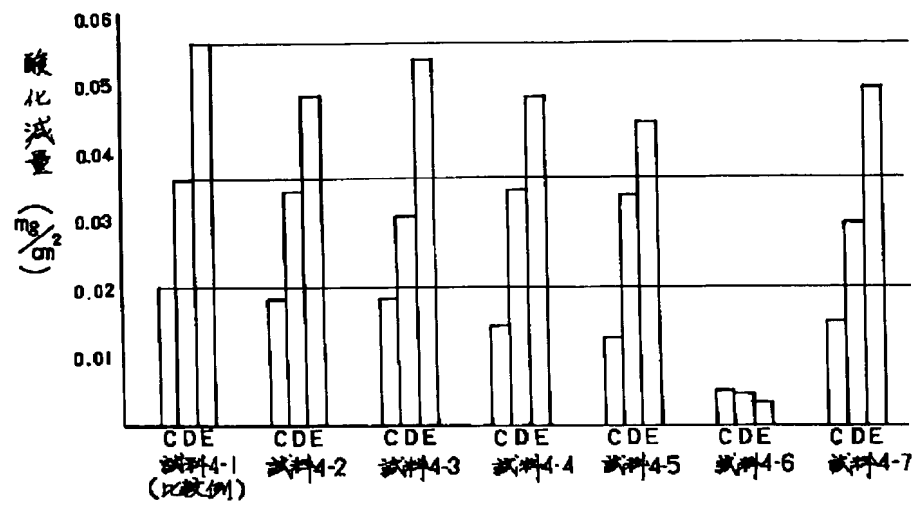
【図9】



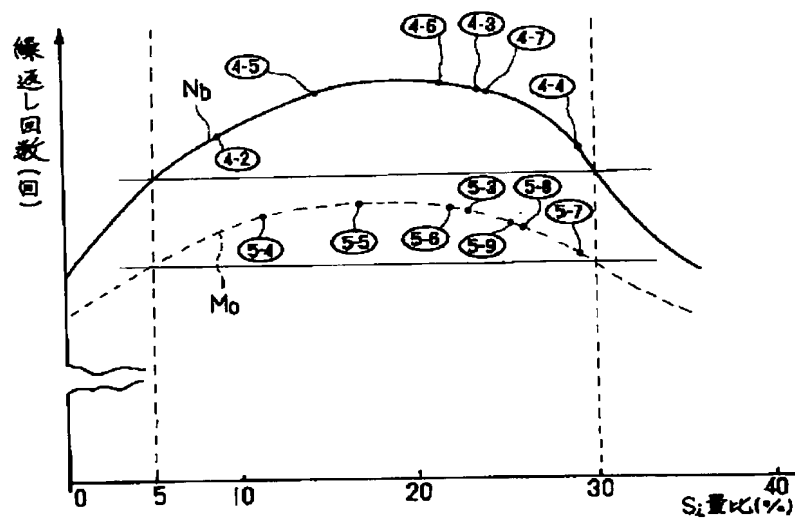
【図10】



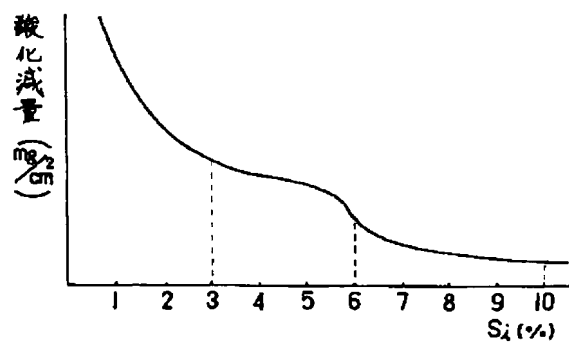
【図11】



【図12】



【図14】



【図15】

